

CERNE E BORNE - FACTORES DE VARIAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA DAS ÁRVORES

Jorge Gominho*, Sofia Knapic, Helena Pereira

Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa,
1349-017 Lisboa

Resumo. O lenho do tronco das árvores inclui duas zonas com características diferentes: o cerne e o borne, respectivamente no interior e exterior. A partir de uma certa idade ocorre a formação de cerne por transformação do borne. Neste processo as células de parênquima do borne morrem, ocorre acumulação de extractivos e deixa de haver condução.

Como consequência, o cerne apresenta maior durabilidade natural, menor permeabilidade e, em geral, uma cor mais escura, ao contrário do borne. Para a produção de pasta para papel, a presença de cerne constitui uma desvantagem, enquanto que para produtos de madeira maciça, o cerne é um factor de valorização, especialmente em aplicações de exterior ou com alto valor estético. Em Portugal, o eucalipto e o pinheiro bravo são duas espécies importantes, respectivamente como matéria-prima para pasta para papel e para serração e nas quais o cerne constitui uma parte importante do tronco na idade de abate das árvores.

1. O cerne e borne

O lenho de uma árvore adulta pode ser dividido em duas zonas distintas em termos da sua actividade fisiológica: *o borne e o cerne*. Estas zonas são identificadas em muitas espécies, embora a sua ocorrência, propriedades e cor possam variar (Hillis, 1987). Nas resinosas, em alguns casos, pode ser identificada visualmente uma terceira região, *a zona de transição*, situada entre o cerne e o borne. Em corte transversal do tronco, pode observar-se que o cerne forma um círculo interior cuja área vai diminuindo gradualmente da base da árvore para cima, até terminar a um determinado nível de altura do tronco. Deste modo, o cerne forma um cone interior no tronco das árvores (Figura 1).

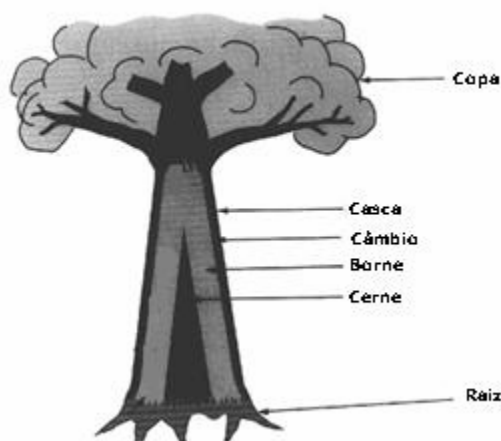


Figura 1. Variação axial do cerne e do borne dentro do tronco de uma árvore.(Desch e Dinwoodie, 1996)

O *borne* compreende a parte exterior do lenho que está fisiologicamente activa e é responsável pela condução da água e sais minerais da raiz para a copa da árvore e pelo armazenamento dos produtos elaborados. O borne é constituído pelas células mais recentes da formação do lenho (Hillis, 1987; Desch e Dinwoodie, 1996). No borne, embora a maioria das células estejam mortas, as células de parênquima nos raios continuam vivas durante algum tempo e tomam parte activa em processos metabólicos, tais como a respiração e a assimilação e respondem a eventuais

agressões sofridas pela árvore, produzindo tecido cicatrizante ou substâncias de protecção (por exemplo, resinas e gomas).

O *cerne* compreende a parte central do lenho que está fisiologicamente inactiva por ser constituída por células mortas de onde os materiais de reserva (por exemplo, amido) foram removidos e onde se deu a acumulação no lúmen e nas paredes das células de produtos do metabolismo secundário posterior à lenhificação das paredes celulares. Estes produtos são extractáveis com solventes orgânicos e incluem-se na designação geral de extractivos da madeira (Figura 2). A coloração mais escura geralmente apresentada pelo cerne é devida à acumulação destes produtos (Hillis, 1987; Desch e Dinwoodie, 1996). O cerne também se forma nos ramos e nas raízes de certas espécies e pode aparecer como resposta a uma agressão sofrida pela árvore, designando-se neste caso cerne patológico (Hillis, 1987).

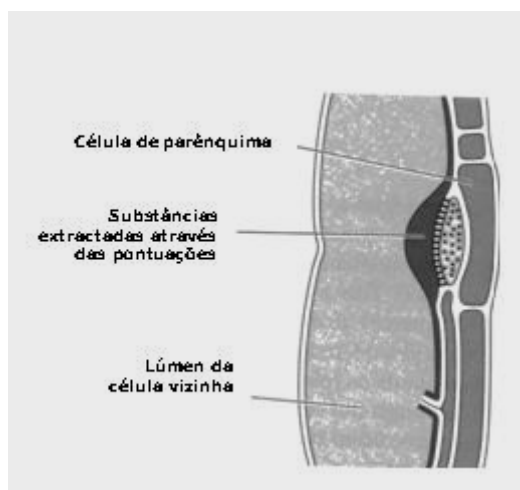


Figura 2. Deposição de substâncias produzidas por uma célula de parênquima no lúmen de uma célula vizinha. (Buchanan *et al.* (2000))

O processo de transformação do borne em cerne é complexo e não se encontra ainda totalmente esclarecido, constituindo uma área pouco estudada (Buchanan *et. al.*, 2000). A teoria mais divulgada (Chattaway, 1952; Frey-Wyssling e Bosshard, 1959) tem por base o envelhecimento natural e consequente morte das células de parênquima a partir de uma certa idade. A formação do cerne começará com uma degeneração gradual destas células no borne mais interno até terminar com a sua morte na zona de transição (Kramer e Kozlowski, 1960; Hillis, 1962; Desch e Dinwoodie, 1996).

A proposta de existência de um mecanismo de autoregulação entre a área condutora do tronco (borne) e a biomassa foliar (copa) (Shinozaki *et. al.*, 1964) também tem sido utilizada frequentemente para explicar a formação de cerne. Esta teoria, conhecida como “pipe-model” (modelo tubular), diz que na árvore a condução é assegurada por um conjunto de unidades tubulares que se estendem desde as raízes até às unidades de transpiração (folhas), pelo que a área transversal condutora no tronco, ramo ou raiz de uma árvore é proporcional à biomassa foliar. Diversos trabalhos de investigação têm comprovado esta proporção (Grier e Waring, 1974; Albrektson, 1984; Margolis *et. al.*, 1988).

A morte gradual das células de parênquima e a formação do cerne poderão resultar da conjugação de dois factores: o primeiro temporal, ou seja, consequência da idade, e o segundo espacial, correspondendo a uma resposta ao aumento da distância entre estas células e a parte fisiologicamente mais activa do tronco (Hillis, 1980).

Durante a transformação do borne em cerne ocorre translocação de compostos, um processo semelhante ao que se passa com a senescência das folhas: os produtos de reserva como o amido, açúcares solúveis, aminoácidos e elementos minerais translocáveis (N, P, K) são removidos do

borne senescente para o borne mais jovem (Hillis, 1987; Bamber e Fukazawa, 1985; Meetr, 2002).

2. Propriedades de cerne e borne

O processo de transformação de borne em cerne introduz algumas alterações a nível químico e anatómico responsáveis por diferenças de comportamentos e propriedades nestas duas zonas do tronco.

A alteração mais importante, e que constitui a base da formação de cerne, ocorre a nível químico e tem a ver com a deposição de extractivos e a remoção de compostos de reserva. A formação dos extractivos do cerne é iniciada nas células de parênquima que acumulam ou biosintetizam estes compostos e os difundem através das pontuações para as células lenhificadas do xilema secundário circundante. Estes compostos são do tipo fenólico (por exemplo, linhanas, estilbenos e compostos derivados de flavonoides), terpenos ou alcalóides. Depois da sua deposição, os extractivos podem continuar a sofrer transformações químicas, por exemplo oxidações e condensações, com formação de oligómeros e estruturas poliméricas, já dificilmente removíveis apenas por extracção com solventes e que se assemelham à lenhina (Meetr, 2002). O valor de pH é inferior no cerne em relação ao borne, devido à presença de compostos ácidos nos extractivos do cerne. Em algumas espécies de eucaliptos e carvalhos foram já observados no cerne valores de pH inferiores a 3 (Hillis, 1987).

Os compostos acumulados no cerne, principalmente os compostos fenólicos do tipo flavonoide, têm cor e são eles os responsáveis pela coloração distintiva do cerne na maioria das espécies, que pode ir desde o preto no ébano, a tons de amarelo-laranja-castanho de alguns pinheiros, ao violeta do pau-roxo. Para além disso, alguns destes compostos são odoríferos e transmitem ao cerne um cheiro característico. Um exemplo com enorme importância comercial é o caso do sândalo (*Santalum album*).

A nível anatómico, ocorre a aspiração dos toros nas pontuações areoladas das células das resinosas e a sua obstrução por deposição de material no margo. Nas folhosas há a formação de tilos nos elementos de vasos (Figura 3).

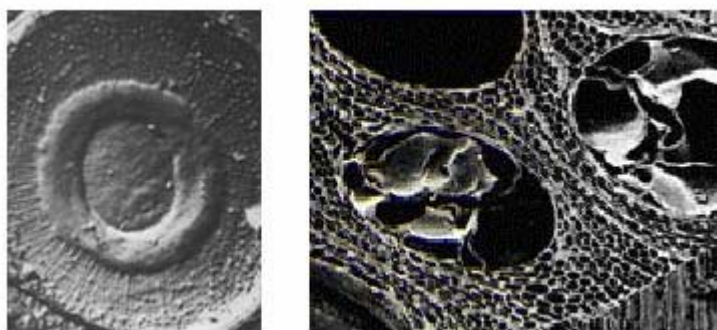


Figura 3. Fotografia em microscópio electrónico de varrimento: a) pormenor uma pontuação onde se vê o margo completamente fechado devido a deposição de material (Jinxing, 1989), b) obstrução de elementos de vasos por tilos na madeira de um carvalho (*Quercus alba*), (<http://treebiol.forest.wisc.edu/forestry415/treestructure/>)

As alterações anatómicas na formação de cerne tornam o cerne não condutor, deste modo diminuindo fortemente a sua permeabilidade à passagem de gases e líquidos em relação ao borne. Na árvore, o borne possui geralmente um teor de humidade mais elevado do que o cerne nas resinosas, enquanto que nas folhosas esta diferença não se verifica: por exemplo, o teor de humidade é 170% no borne e 40% no cerne em *Pinus radiata* e em *Ulmus serotina* é 92% no borne e 95% no cerne (Hillis, 1987).

Devido ao maior teor de extractivos, o cerne apresenta muitas vezes uma densidade mais elevada do que o borne, embora a variação radial de densidade que ocorre em geral nas árvores, crescente no sentido medula-casca, possa sobrepor-se a este efeito. Por outro lado, as propriedades de resistência mecânica da madeira não são alteradas pela formação de cerne, visto não existir alteração a nível da estrutura da parede celular (Kai, 1991).

Mas a propriedade do cerne com maior relevância é certamente a sua durabilidade natural. A acumulação de extractivos, na sua maioria tóxica para microrganismos e agentes xilófagos, assim como a existência de maiores obstáculos físicos para a sua penetração no tecido celular devido às alterações anatómicas que ocorreram no cerne, têm como consequência uma maior resistência a ataques bióticos. O borne, sem acumulação de extractivos fenólicos e contendo teores importantes de amido e gorduras, é geralmente susceptível ao ataque de fungos e insectos (Figura 4). Por isso, para a sua utilização em exterior, a madeira de borne requer o tratamento de preservação com agentes químicos.

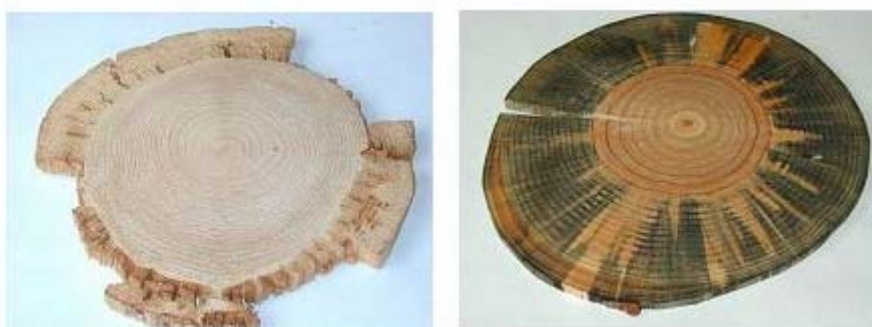


Figura 4. Exemplos de durabilidade do cerne em comparação com o borne: borne de uma rodela de criptoméria (*Cryptomeria japonica*) severamente atacada e destruída pela podridão castanha cúbica (*Coniophora* spp.) (esquerda) e rodela de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) atacada pelo fungo do azulado da madeira (*Ceratocystis* spp.)

3. Métodos de determinação do cerne

O cerne distingue-se do borne frequentemente por diferenças cromáticas. Nas espécies em que as diferenças de cor não são muito marcadas, pode recorrer-se a testes químicos ou à identificação de características anatómicas, ou recorrer a outras propriedades.

Os testes químicos baseiam-se na diferença entre borne e cerne no valor de pH e na presença de amido, tendo sido usados diferentes corantes: clorito férrico (Campbell *et. al.*, 1990; Winandy e Morrell, 1993), alaranjado de metilo (Clarke *et. al.*, 1993), ácido sulfânico e nitrato de sódio (Fries e Ericsson, 1998), nitrato de sódio e o-anisidina, e iodo-iodeto de potássio (Yang e Hazenberg, 1991; Moura, 1999). Pode ser também utilizada a diferença de permeabilidade entre cerne e borne por imersão em água líqüida ou tratamento com vapor de água, verificando-se uma diferença de cor entre eles devido às diferentes taxas de penetração e absorção de água.

Um outro método de detecção de cerne bastante expedito é a radiação infravermelha (IV) que permite detectar diferenças de temperatura no material. No tronco, tal permite a identificação de zonas interiores com diferente humidade e densidade, podendo, por isso, ser aplicada para a detecção das zonas de cerne nos toros (Gjerdrum, 2002).

Nos últimos anos, as tecnologias com raios X têm sido as mais exploradas e desenvolvidas para aplicação industrial de modo a obter uma "radiografia" do toro ou tronco (Figura 8) (Grundberg, 1999). Esta técnica baseia-se na medição da quantidade de radiação que atravessa o material, estando esta dependente da sua espessura, densidade e humidade (Knapic *et. al.*, 2003).

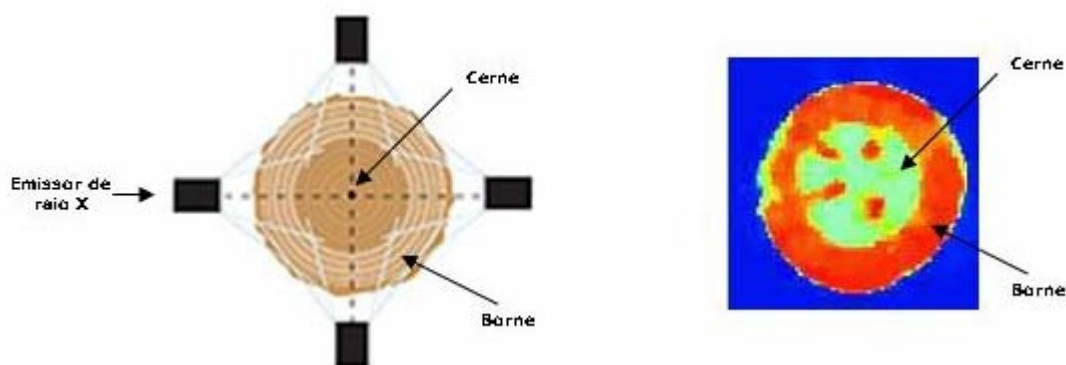


Figura 5. Determinação do conteúdo em cerne num tronco de madeira por intermédio de raios X. (WWW.storaenso.com/timber) Imagem de um corte transversal num toro com os nós e cerne obtidas por raio-X em múltiplos ângulos (Knapic *et. al.*, 2003)

A tomografia computadorizada é outra técnica também usada para a detecção do cerne, baseando-se em leituras, num número elevado de ângulos, em que a fonte e o detector (neste caso de forma curva) de raio-X fazem um movimento de rotação em redor do toro (Knapic *et. al.*, 2003; Lindgren *et. al.*, 1992).

A ressonância magnética (RM) é também uma técnica bastante eficaz para a detecção de cerne. Nas imagens a intensidade é função do teor de humidade e dos compostos que possuem hidrogénio, de acordo com a sua proporção. Para além do cerne, é possível detectar anéis de crescimento, nós, bolsas de resina ou outros constituintes (Dawson-Andoh *et. al.*, 2001; Fernández *et. al.*, 2002).

4. Influência do cerne nas propriedades e utilização da madeira

A presença de cerne e a sua ocorrência em maior ou menor quantidade no tronco de uma árvore é, frequentemente, um critério de selecção da madeira como matéria-prima para determinado fim e tipo de indústria florestal. Podem distinguir-se dois grandes campos de utilização de madeira para os quais a presença de cerne constitui factor de qualidade com sinal diferente: a produção de pasta para papel, onde o cerne é indesejável, e a utilização de madeira sólida, onde o cerne constitui factor de valorização.

Na indústria papelreira é desejável uma matéria-prima com menor teor de cerne, dado que este causa diversos problemas no processo e na qualidade dos produtos devido ao maior teor de extractivos e menor permeabilidade (Hillis, 1972; Hall *et. al.*, 1973; Higgins, 1984; Wallis *et. al.*, 1996). A presença de muitos extractivos tem como consequência aumentar o consumo de reagentes de deslenhificação durante o processo, diminuir o rendimento da pasta e o seu grau de brancura (Wallis *et. al.*, 1996; Turner, 1983; Hillis, 1991; Ona *et. al.*, 1995; Miranda e Pereira, 2001). As alterações anatómicas do cerne e acumulação de extractivos dificultam a circulação do líquido no interior das estilhas e o processo de difusão na madeira, contribuindo para reduzir a sua permeabilidade ao licor de reacção e a solubilização dos fragmentos da lenhina. Alguns dos extractivos solubilizados podem também aglomerar-se em partículas que se depositam nos equipamentos, causando dificuldades operacionais, e, por vezes, aparecem como contaminantes nos produtos finais. Certos extractivos, por exemplo o ácido elágico, originam a corrosão dos equipamentos (Hillis, 1991; Kai, 1991).

Quando a madeira é utilizada como madeira sólida em obra ou para mobiliário, por exemplo, o cerne constitui a parte mais valorizada do tronco, principalmente quando se trata de aplicações exteriores ou em ambientes de humidade elevada devido à sua durabilidade natural e à menor permeabilidade. Constituem exemplos a aplicação em obras exteriores (por exemplo, portas,

janelas, estruturas, mobiliário urbano) assim como em construção naval. A coloração do cerne é também muito valorizada pela indústria de mobiliário e a presença de alguns extractivos pode ser aproveitada industrialmente, como por exemplo em tanoaria para o envelhecimento de vinhos e aguardentes. No entanto, a presença de extractivos no cerne tem de ser tomada em conta nos processos de colagem pois podem afectar as propriedades reológicas dos adesivos e o processo de polimerização. Os tratamentos de superfície por exemplo, a aplicação de vernizes e velaturas, requerem o mesmo tipo de cuidados.

Deste modo, a presença de cerne será vantajosa quando as árvores se destinam à produção de madeira maciça e desvantajosa quando elas se destinam à produção de pasta para papel. Em Portugal, duas das principais espécies podem constituir exemplos para cada uma destas situações: o eucalipto (*Eucalyptus globulus*) utilizado quase exclusivamente pela indústria papeleira e o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) que constitui a matéria-prima mais importante para a indústria de serração.

O estudo do desenvolvimento do cerne e dos seus factores de variabilidade, assim como das suas propriedades, para ambas as espécies constitui tema de investigação desde 1999 no âmbito das actividades do Centro de Estudos Florestais. Descrevem-se seguidamente alguns dos resultados obtidos numa perspectiva de ilustração com estudos de caso.

5. O cerne no pinheiro bravo

O cerne do pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) apresenta uma cor castanha avermelhada escura que se distingue bem do borne que é castanho amarelado claro. Em secção transversal do tronco, o cerne apresenta em geral um contorno regular, acompanhando os anéis de crescimento.

A idade de início da formação do cerne no pinheiro foi estimada como 18-21 anos, aumentando seguidamente o número de anéis anuais incluídos no cerne com a idade do câmbio (Pinto et al. 2005, Knapic et al. 2005).

O diâmetro do cerne diminuiu ao longo do tronco, da base para cima, podendo encontrar-se dois tipos de padrão de variação (Figura 6): em algumas árvores, o diâmetro de cerne aumenta da base até um valor máximo situado na zona inferior do tronco, em geral a uma altura entre 2-4 metros; decrescendo depois até ao topo; noutras árvores, o diâmetro de cerne decresce continuamente da base até ao topo, acompanhando o perfil do tronco (Knapic et al. 2005).

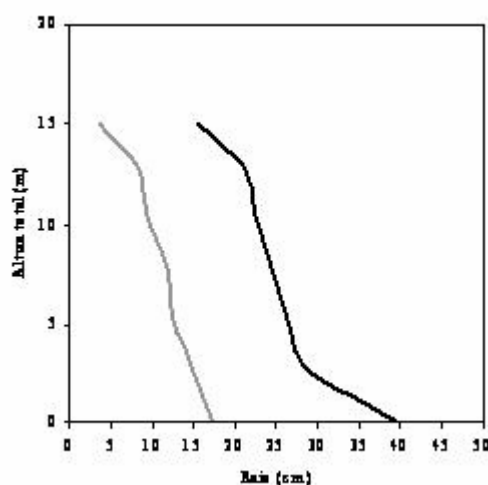


Figura 6. Exemplo do perfil vertical de tronco e de cerne para uma árvore de pinheiro bravo (Knapic e Pereira, 2005)

Em árvores com 80 anos, o cerne tem valores máximos de diâmetro correspondentes a 42-44% do diâmetro total e a cerca de 18% da área, enquanto que em árvores mais jovens (40-50 anos) o diâmetro do cerne varia entre 17% a 41% do diâmetro total (Pinto et al. 2005). A variação dimensional do cerne, tanto em valor absoluto como em proporção da área total, é bastante elevada entre árvores diferentes, ao contrário do borne que apresenta uma largura razoavelmente constante entre árvores no mesmo local.

A determinação do teor de extractivos, realizada para alguns pinheiros, mostrou em média 5,8 % no borne e 19,7 % no cerne, correspondendo a maior parte a compostos polares extraídos com etanol e água (Esteves, 2000).

6. O cerne no eucalipto

O cerne do eucalipto (*E. globulus*) apresenta uma cor castanha clara que nem sempre se distingue bem do borne pelo que por vezes é necessário recorrer à utilização de corantes (Figura 7). Em secção transversal do tronco, o cerne apresenta em geral um contorno regular.



Figura 7. Secções transversal e radial de um tronco de *Eucalyptus globulus*, mostrando depois de pincelado com alaranjado de metilo a existência de um cerne definido e de contorno regular

Apesar de utilizadas pela indústria com idades jovens (9-12 anos em zonas temperadas, 6-7 anos em zonas tropicais), as árvores de *E. globulus* possuem já quantidades apreciáveis de cerne. Em plantações comerciais em Portugal em idade de corte, a percentagem de cerne representa perto de um terço do volume útil do tronco. Em árvores do híbrido *urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) provenientes do Brasil e com 6 anos verificou-se que o cerne é maior representando cerca de 39% do volume do tronco (Gominho et al., 2001).

Na árvore, o cerne decresce da base para o topo da árvore, formando um cone interno no interior do tronco (Figura 8) que atinge cerca de 60-70% da altura total. A idade do início da sua formação foi estimada em 4-5 anos (Gominho e Pereira, 2000). A largura de borne é constante na árvore até uma determinada altura (aproximadamente 35 % da altura total), aumentando depois devido ao progressivo decréscimo do raio do cerne.

O desenvolvimento do cerne mostrou uma correlação positiva com o crescimento da árvore. A localização do povoamento, a respectiva silvicultura e as condições de crescimento, assim como a origem genética das árvores, influenciaram o crescimento das árvores e o desenvolvimento do cerne. Este facto sugere que o cerne seja tomado em consideração quando se avalia a qualidade da produção de plantações de *E. globulus* e que seja incluído nos respectivos programas de melhoramento.

A determinação do teor de extractivos revelou que o cerne acumula em média cerca de 1,5 vezes mais extractivos que o borne. Os extractivos em diclorometano representam uma fracção muito pequena e os extractivos em etanol constituem a maior fracção, representando em média mais de 50 % dos extractivos totais (Gominho, 2004).

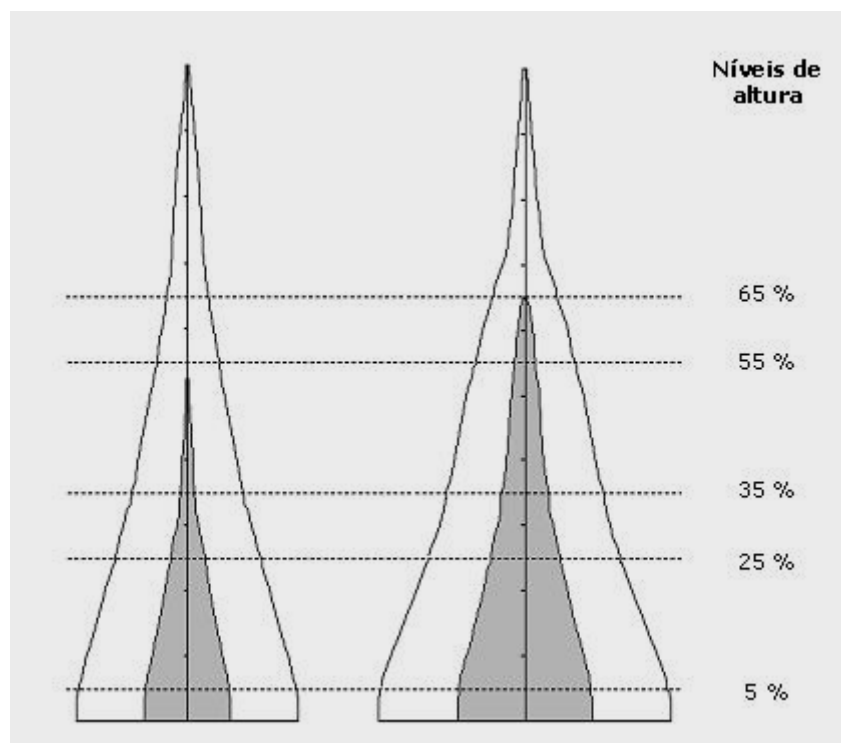


Figura 8. Desenvolvimento do cerne na árvore em duas plantações de eucalipto em idade de corte.

Referências bibliográficas

- ALBREKTSON, A. 1984. Sapwood basal area and needle mass of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in central Sweden. *Forestry*. 57(1):35-43.
- BAMBER R. K. E FUKAZAWA K. 1985. Sapwood and heartwood. A review. *Forestry Abstr.* 46:567-580.
- BUCHANAN, B. B., GRUISSEM, W., JONES, R. L. 2000. *Biochemistry and molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists. Rockville, Maryland. 1367 pp.
- CAMPBELL A. G., KIM W., KOCH P. 1990. Chemical variation in lodgepole pine with sapwood/heartwood stem height, and variety. *Wood Fiber Sci.* 22(1):22-30.
- CHATTAWAY, M. M. 1952. The sapwood-heartwood transition. *Aust. For.* 16:25-34.
- CLARKE C. R. E., GARBUTT D. C. F., PEARCE J. 1997. Growth and wood properties of provenances and tree of nine Eucalypt species. *Appita J.* 50(2)121:130.
- DAWSON-ANDOH, B.E., HALLOIN, J.M., COOPER, T.G., KAMDEM, D.P., POTCHEN, E.J. 2001. Magnetic resonance imaging as a potencial tool in the study of wood penetration by waterborne preservative systems. *Wood and Fiber Science*, 33(1), 84-89.
- DESCH H. E. E DINWOODIE, J. M. 1996. *Timber – Structure, Properties, Conversion and Use*. (7th ed.) Macmilan Press. London. 306 pp.

- EATON, R. A. E HALE, M. D. C. 1993. *Wood – Decay, pests and protection*. Chapman & Hall. New York. 546 pp.
- ESTEVES, B. M. M. L. 2000. *Influência do cerne na composição química e na deslenhificação para o Pinheiro (Pinus pinaster)*. Dissertação de para o Grau de Mestre. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- FERNÁNDEZ, P., MORALES, S., GUESALAGA, A., 2002. 3D Internal tree structure modelling using Magnetic Resonance Imaging (MRI) IUFRO WP S5.01-04 “Connection between forest resources and wood quality: modelling approaches and simulation software”. British Columbia
- FREY-WYSSLING, A., BOSSHARD, H.H. 1959. Cytology of the ray cells in the sapwood and heartwood. *Holzforsch.* 13: 129-137.
- FRIES, A. E ERICSSON, T. 1998. Genetic parameters in diallel-crossed Scots pine favor heartwood formation breeding objectives. *Can. J. For. Res.* 28:937-994.
- GJERDRUM, P., 2002. *Sawlog quality of nordic softwood-measurable properties and quantitative models for heartwood, spiral grain and log geometry*. Doctoral thesis. Department of Forest Sciences, Agricultural University of Norway.
- GOMINHO, J. E H. PEREIRA 2000. Variability of heartwood content in plantation grown *Eucalyptus globulus* Labill. *Wood Fiber Sci.* 32(2): 189-195.
- GOMINHO, J., J. FIGUEIRA, J. RODRIGUES E H. PEREIRA 2001. Within-tree variation of heartwood extractives and wood density in eucalypt hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* x *E.urophylla*) *Wood Fiber Sci.* 33(1), 3-8.
- GRIER, C. C. E WARING, R. H. 1974. Conifer foliage mass related to sapwood area. *For. Sci.* 20:205-206.
- GRUNDBERG, S., 1999. *An X-ray LogScanner - a tool for control of the sawmill process*. Doctoral thesis. Division of Wood Technology, Luleå University of Technology, Skellefteå: 30 pp.
- HALL, M. J., HANSEN, N. W., E RUDRA, A. B. 1973. The effect os species, age and wood characteristics on Eucalypt kraft pulp quality, *Appita.* 26(5):348-354.
- HIGGINS, H. G. 1984. Pulp and paper. pp 290-316 in W. E. Hillis and A. G. Brown, eds. *Eucalyptus for wood production*. CSIRO/Academic Press Australia, Melbourne.
- HILLIS, W. E. 1962. *Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries*. Academic Press, New York. 513 pp.
- HILLIS, W. E. 1987. *Heartwood and tree exudates*. Springer-Verlag. Berlin. 268 pp.
- HILLIS, W. E. 1991. Eucalyptus: chemistry, uses. *Appita.* 44(4): 239-244.
- HILLIS, W. E., 1972. Properties of eucalypt woods of importance to the pulp and paper industry. *Appita.* 26(2):113-122.
- HILLIS, W. E., 1980. Some basic characteristics affecting wood quality. *Appita.* 33(5): 339-344.
- <http://treebiol.forest.wisc.edu/forestry415/TreeStructure/> (consultado em Agosto de 2003)
- JINXING, L. 1989. Distribution, size and effective aperture area of the inter-tracheid pits in the radial wall of *Pinus radiata* tracheids. *IAWA Bull.* n. s. 10(1):53-58.

- KAI, Y. 1991. Chemistry of extractives. In D. N.-S. Hon e N. Shiraishi eds. *Wood and cellulosic chemistry*. Marcel Dekker, INC. New York. pp. 215-251.
- KNAPIC, S. E PEREIRA, H. 2005. Within-tree variation of heartwood and ring width in Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest, Ecology and Management*. Em publicação.
- KNAPIC, S., PINTO, I., PEREIRA, H., 2003. A árvore virtual e o toro de vidro. Técnicas de modelação e simulação da cadeia de conversão da madeira. *Ingenium*, 2ª série, 75, 75-79.
- KRAMER, P. J. E KOZLOWSKI, T. T. 1960. *Fisiologia das árvores*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 745 pp.
- LÅNGSTRÖM, B. E HELIQUIST, C. 1991. Effects of different pruning regimes on growth and sapwood area of Scots pine. *For. Ecol. Manage.* 44:281-286.
- LINDGREN, O., DAVIS, J., WELLS, P., SHADBOLT, P. 1992. Non-destructive wood density distribution measurements using computed tomography. *Holz als Roh- und Werkstoff* 50, 295-299
- MARGOLIS, H. A., GAGNON, R. R., POTHIER, D., PINEAU, M. 1988. The adjustment of growth sapwood area, heartwood area, and sapwood saturated permeability of balsam fir after different intensities of pruning. *Can. J. For. Res.* 18:723-727.
- MEETERS, P. 2002. Mineral nutrient concentrations in sapwood and heartwood: a literature review. *Ann. For. Sci.* 59:713-722.
- MIRANDA, I. E PEREIRA, H. 2001. Provenance effect on wood chemical composition and pulp yield for *Eucalyptus globulus* Labill. *Appita* 54(4):347-351.
- MOURA, M. J. C. 1999. *Caracterização morfológica da madeira de Eucalyptus globulus – Estudos de variabilidade numa árvore*. Dissertação de para o Grau de Mestre. Faculdade de Ciência e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Coimbra.
- ONA, T., ITO, K., E SHIBATA, M. 1995. Studies of decision of selection indexes for quality breeding of eucalypt pulpwood (VI) – Relationship between wood and pulp properties brought by their within-tree variations on *E. camaldulensis*. *J. Japan. Tappi.* 49(9):1347-1356.
- PINTO, I., PEREIRA, H. and USENIUS, A. 2005. Heartwood and sapwood development within Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems. *Trees. In press*
- SHINOZAKI, K., YODA, K., HOZZUMI, K. E KIRA, T. 1964. A quantitative analysis of plant form – pipe model theory. I. Basic analysis. *Jpn. J. Ecol.* 14:97-105.
- TURNER, C. H., BALODDISS, V. E DEAN, G. H. 1983. Variability in pulping quality of *E. globulus* from Tasmanian provenances. *Appita*. 33(5): 371-376.
- WALLIS, A. F. A., WEARNE, R. H. E WRIGHT, P. J. 1996. Analytical characteristics of plantation eucalypt woods relating to kraft pulp yields. *Appita*. 49(6):427-428
- WINANDY, J. E. E MORRELL, J. J. 1993. Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of Douglas-fir heartwood. *Wood Fiber Sci.* 25(3):278-288.
- YANG, K. C. E HAZENBERG, G. 1991. Relationship between tree age and sapwood/heartwood width in *Populus tremeloides* Michx. *Wood Fiber Sci.* 23(2):247-252.